

## МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ РЕГУЛЯТОР ДИЗЕЛЯ И РАСЧЁТ ЦИКЛОВОЙ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

### Введение

Постепенное введение для автомобильных дизелей европейских норм на выбросы вредных веществ в отработавших газах (ОГ), которые постоянно ужесточаются, послужило стимулирующим фактором для развития микропроцессорного регулирования системами и работой дизеля в целом.

Применение современных конструктивных мероприятий по совершенствованию дизелей в направлении улучшения топливной экономичности и снижения выбросов вредных веществ в ОГ тесно связано с применением микропроцессорных систем для управления подачей топлива, наддувом, системами нейтрализации ОГ и рабочими процессами дизеля в целом. Аккумуляторные топливные системы типа Common Rail вообще не могут работать без микропроцессорного управления.

Научная тематика кафедры «Двигатели и теплотехника» Национального транспортного университета (НТУ) многие десятилетия связана с разработкой и усовершенствованием топливных систем и автоматических систем регулирования автотракторных дизелей и газодизелей. Базируясь на накопленном опыте разработок и исследованиях механических, гидравлических регуляторов частоты вращения коленчатого вала дизеля и электронного регулятора управления подачей газового топлива для газодизеля, было поставлено задание – разработать микропроцессорный регулятор (МР) для автомобильного дизеля.

### Постановка задачи

Впервые серийный выпуск электронных регуляторов частоты вращения дизеля был начат фирмой Вудворд во второй половине 50-х годов. В наше время практически все ведущие фирмы, которые производят топливную аппаратуру, дизели, автомобили, тракторы и другие наземные транспортные средства создают и внедряют микропроцессорные системы управления дизелем, системы управления и регулирования его агрегатами, и транспортным средством в целом.

Детально об основных функциях и принципе работы серийных МР для различного типа топливной аппаратуры, которые выпускают зарубежные фирмы, описано в работе [1]. Среди стран СНГ ре-

альных успехов в применении МР собственной конструкции на ТНВД для автомобильных дизелей достигли производители топливной аппаратуры ЯЗТА и ЯЗДА [2]. В 2005 г. на международной выставке SIA'05 в г. Киеве они представили свои новые образцы топливной аппаратуры с МР.

Цель работы – создание научно-технических основ для перехода от механического регулятора дизеля к микропроцессорному на примере разработки экспериментального двухрежимного МР с полными частичными характеристиками для автомобильного дизеля 4 ЧН 12/14.

Предыдущие этапы работ по созданию экспериментального двухрежимного МР с полными частичными характеристиками были опубликованы ранее в работах [3–5]. Описанные этапы работ были связаны с разработкой общей методики создания МР дизеля и программно-измерительного комплекса в его составе, с вопросами математического моделирования МР.

Одной из главных задач разработки МР было создание программного обеспечения. Исходные данные для этого были получены в результате: анализа характеристик рядного ТНВД; обоснования возможности коррекции цикловой подачи топлива с помощью МР при различном положении рейки; выбора методов расчёта двухрежимных характеристик в цифровом регуляторе.

В статье представлены результаты разработки и принцип работы экспериментального МР для автотракторного дизеля 4 ЧН 12/14, которые выполнены в сотрудничестве с Институтом газа НАН Украины. Сделан упор на принцип работы электронного блока управления (ЭБУ), на расчёт положения исполнительного органа МР, т.е. расчёт цикловой подачи топлива рядного ТНВД для получения заданного двухрежимного регулирования.

### Методика

Внесены уточнения в общую методику создания МР дизеля, которая была опубликована в работе [3].

Электронный регулятор состоит из трёх структурных составляющих: датчиков с измерительной частью; электронного блока управления с программным обеспечением; исполнительного ме-

ханизма (одного или нескольких). В соответствии с общей методикой структурные составляющие проходят этапы макетного проектирования, создания программного обеспечения, безмоторных и моторных испытаний.

Наиболее трудоёмким, на наш взгляд, является создание работоспособного программного обес-

печения для ЭБУ.

Уточнённая методика и этапы разработки экспериментального образца МР показаны на рис. 1, где введены отладка программного обеспечения и разработка диагностического программного обеспечения.

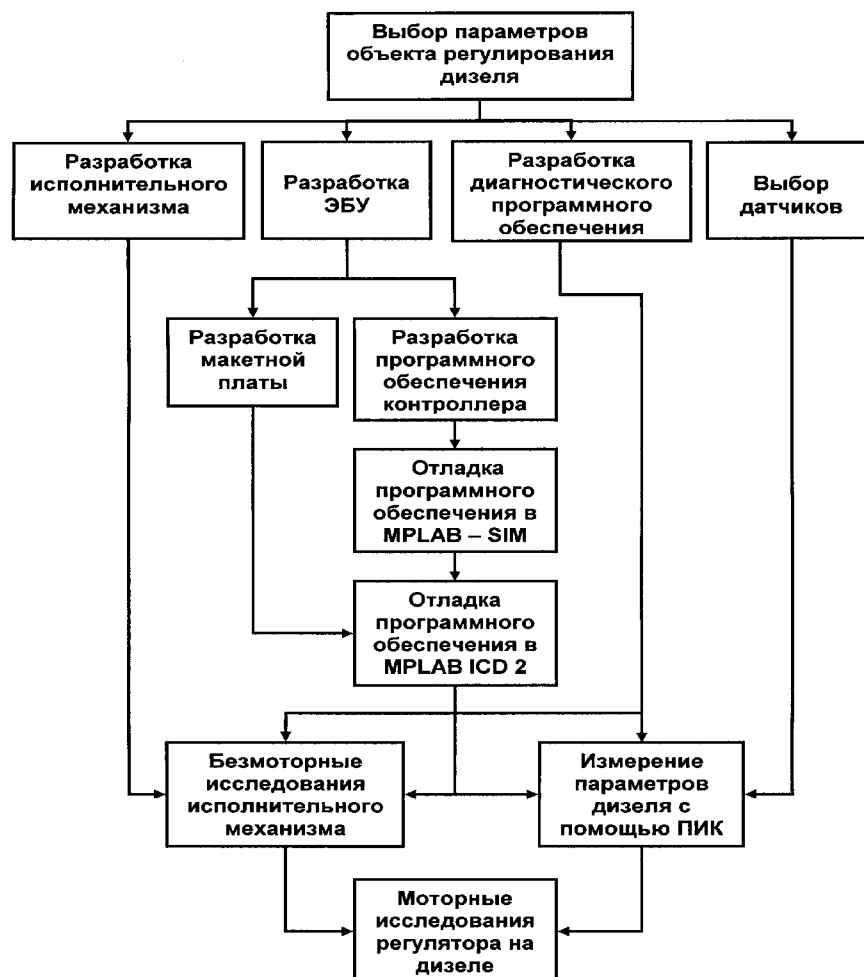


Рис. 1. Этапы разработки МР дизеля

В основу создания программного обеспечения для ЭБУ заложено два метода. Первый – пошаговые ограничения в зоне работы дизеля для определения диапазона перемещения исполнительного механизма. Второй – метод линейной интерполяции для определения координаты перемещения исполнительного механизма и получения плавных двухрежимных частичных характеристик.

После этапа макетного проектирования была проведена отладка программного обеспечения для ЭБУ на математической модели МР [4]. Математическая модель МР реализована в программной среде MATLAB/Simulink, что дало возможность при моделировании работы ЭБУ использовать прак-

тически идентичное программное обеспечение, заложенное в микроконтроллер. В математической модели отсутствует только участок программы микроконтроллера, который описывает запуск дизеля.

Подпрограмма-модуль МР была объединена со структурным звеном «ТНВД», которое моделирует работу нагнетательных секций насоса, трубопроводов высокого давления и форсунок. Звено в модели описано графической матрицей, которая получена по экспериментальным данным характеристик ТНВД с фиксированной рейкой с шагом 1 мм. Раньше подобные характеристики аппроксимировали полиномом второй степени, а полученное

уравнение вводили в модель. Такую же величину степени аппроксимации мы оставили для обработки графической матрицы звена «ТНВД» в среде MATLAB/Simulink.

Исполнительный механизм в подпрограмме-модуле МР был описан передаточной функцией второго порядка. В результате повышена точность моделирования. При проверке адекватности модели МР коэффициент вариации уменьшился в 1,5 раза в сравнении с передаточной функцией первого порядка.

### Основные результаты

В качестве исполнительного механизма для МР был применён серводвигатель Servo C507. Данный серводвигатель (сервопривод) применяется в промышленной автоматике. Напряжение питания – +5 В. Управление серводвигателем осуществляется с помощью широтно-импульсного сигнала от ЭБУ.

Разработано кинематическое соединение исполнительного механизма с рейкой ТНВД (ЛСТНФ 410012), которое показано на рис. 2.

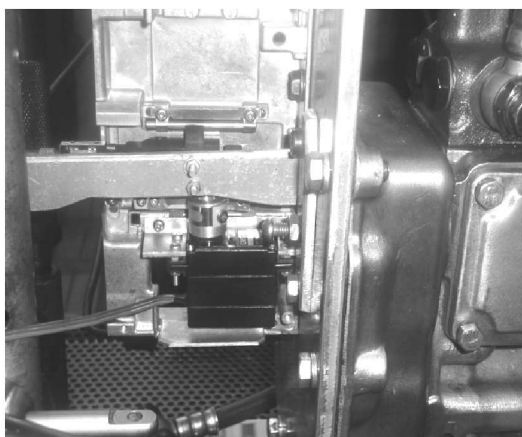


Рис. 2. Исполнительный механизм привода рейки ТНВД

Выходной вал серводвигателя поворачивается на угол от 0 до 90 град за 0,17 с. Рабочий ход исполнительного механизма составляет 80 град, что соответствует 14 мм перемещения рейки ТНВД. Крутящий момент на плече 10 мм составляет 30 Н.

Электронный блок управления преобразует и обрабатывает первичную информацию от датчиков, реализует алгоритмы управления и диагностики элементов МР. Разработанный ЭБУ принимает и обрабатывает такие сигналы: частоты вращения коленчатого вала дизеля, положения электронной педали, температур наддувочного воздуха и охлажда-

ющей жидкости, давления наддува, выключателя подачи топлива. По результатам обработки этих сигналов ЭБУ реагирует на них через исполнительный механизм или световую индикацию.

Главной составляющей ЭБУ является микроконтроллер. Для обеспечения функций экспериментального МР выбран микроконтроллер PIC 16 F876A фирмы Microchip, встроенные модули которого позволяют через схемы согласования взаимодействовать с датчиками и исполнительным механизмом [3, 4].

Разработано программное обеспечение МР, основная задача которого – расчет цикловой подачи топлива в зависимости от частоты вращения дизеля и положения электронной педали.

В работе [4] для двухрежимного регулирования определяли положение исполнительного механизма (расчет цикловой подачи топлива) методом двухмерной линейной интерполяции между двумя граничными кривыми: внешней скоростной характеристикой и характеристикой холостого хода. При таком подходе не все частичные характеристики имели плавное уменьшение цикловой подачи при возрастании частоты вращения коленчатого вала дизеля.

Для преодоления известного недостатка плунжерных ТНВД с дозированием отсечкой – падение цикловой подачи при уменьшении частоты вращения дизеля, была проведена коррекция характеристик ТНВД с фиксированной рейкой. На ТНВД был установлен МР, коррекцию осуществляли в «ручном» режиме управления при подсоединении компьютера к ЭБУ. Критерием выравнивания было получение горизонтальных характеристик ТНВД за счёт дополнительного воздействия на исполнительный механизм посредством введения «ручного» сигнала управления.

Результаты коррекции сигнала управления для получения горизонтальных характеристик цикловых подач показаны на рис. 3. Зависимость расчётного положения исполнительного механизма

$V_p$  показана в цифровом коде (ц.к.) для электрического сигнала. Из рисунка видно, что при изменении частоты вращения  $n_H$  кулачкового вала ТНВД и при разной степени нажатия на электронную педаль (25...100 %), необходима различная степень коррекции характеристик цикловых подач. Эти результаты стали основой для введения в программное обеспечение ЭБУ трёх дополнительных

граничных кривых, которые разместили между внешней скоростной характеристикой и характеристикой холостого хода.

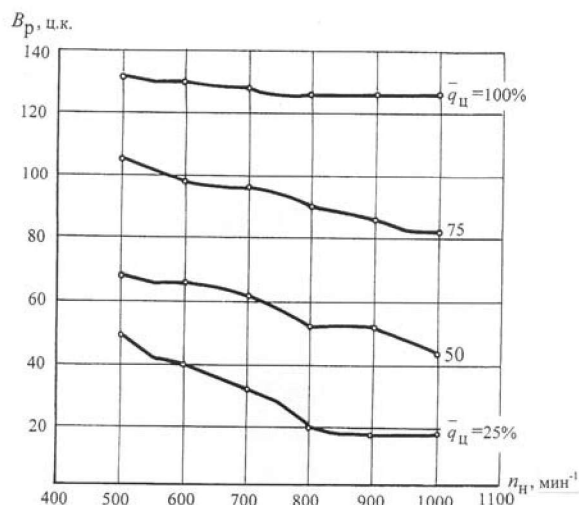


Рис. 3. Результаты коррекции сигнала управления для исполнительного механизма

На рис. 4 показаны графики расчётных граничных кривых с внесенными уточнениями. Координаты калибровочных точек, которые нанесены на рис. 4, введены в электронно-программируемое запоминающее энергонезависимое устройство.

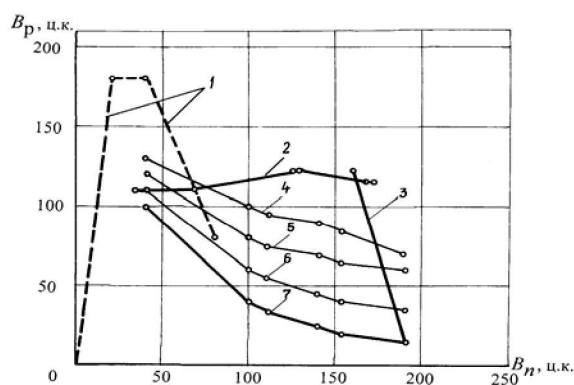


Рис. 4. Данные для расчёта подачи топлива

На рис. 4 показаны следующие граничные кривые: 1 – пусковая подача; 2 – внешняя скоростная характеристика; 3 – регуляторная ветка; 4...6 – дополнительные кривые; 7 – подача холостого хода. Координаты положения исполнительного механизма  $B_p$  в зависимости от частоты вращения  $B_n$  и координаты положения электронной педали показаны в цифровом коде (ц.к.) для электрических сигналов. Кривые 2 и 7 соответствуют нажатию электронной педали на 100 % и 0 %.

Для получения плавных двухрежимных частичных характеристик, наклон которых плавно возрастает по мере уменьшения частоты вращения дизеля, введены дополнительные граничные кривые 4...6, которые соответствуют нажатию электронной педали на 75, 50 и 25 %.

При работе дизеля в диапазоне частот вращения 750...2020 мин<sup>-1</sup> и нажатии оператором на педаль 45 % определение сигнала управления  $B_p$  для исполнительного механизма (расчет цикловой подачи) будет осуществляться методом линейной интерполяции между кривыми 5 и 6 с последующей проверкой ограничения по кривой 3.

На этапах отладки программного обеспечения и проверки работоспособности МР в целом на дизеле много времени было затрачено на режимы холостого хода, пуска и остановки дизеля. Отладку программного обеспечения для этих режимов проводили непосредственно на дизеле 4 ЧН 12/14.

#### Заключение

Разработанный МР прошёл безмоторные и моторные стендовые испытания на дизеле 4 ЧН 12/14, которые подтвердили работоспособность экспериментального образца и правильность написания программного обеспечения.

Трудоёмким процессом в создании МР является разработка и отладка программного обеспечения для ЭБУ. Для ускорения отладки необходимо применять математическое моделирование работы ЭБУ с использованием программных комплексов типа MATLAB/Simulink, которые позволяют сохранять идентичность программного обеспечения микроконтроллера.

#### Список литературы:

1. Грехов Л.В. Топливная аппаратура и системы управления дизелей: Учебник для вузов / Л.В. Грехов, Н.А. Иващенко, В.А. Марков. – М.: Легион-Автодата, 2004. – 344 с.
2. Каталог продукции ООО «Торговый дом «Топливоподающие системы». – 2005. – 24 с.
3. Лисовал А.А. К вопросу о методике разработки микропроцессорного регулятора / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – 2006. – №2. – С. 34–38.
4. Лисовал А.А. Методика и результаты испытаний микропроцессорного регулятора с программно-измерительным комплексом в его составе / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – 2007. – №2. – С. 15–19.
5. Лисовал А.А. Подготовка математической модели электронного регулятора к расчётным исследованиям / А.А. Лисовал // Двигатели внутреннего сгорания. – 2008. – №1. – С. 98–103.